جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره شانزدهم، زمستان ۱۳۹٤

صص ۷۳-۵۵

ارزیابی مدل مناسب گردش عمومی جو برای پیش‌بینی تغییرات اقلیمی استان گیلان

لادن کاظمی راد[۱]ــ دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

حسین محمدی ــ استاد اقلیم‌شناسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۹/٦ تاریخ تصویب: ۱۳۹٤/۵/۷

چکیده

برای ارزیابی تغییرات اقلیمی در استان گیلان، خروجی مدل‌های گردش عمومی جو MPEH5 و HADCM3 با سناریوهای A2 و B1 در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با استفاده از مدل LARS-WG ریزمقیاس شدند. در ابتدا ارزیابی مدلLARS-WG از طریق آزمون آماری t-Student و همبستگی پیرسن انجام شد. پس از تأیید توانمندی مدل LARS-WG در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی برای ۸ ایستگاه موردمطالعه، به‌منظور پیش‌بینی پارامترهای موردنظر در دوره ۲۰ساله آینده (۲۰۳۰-۲۰۱۱)، مدل بر اساس ۲ سناریوی A2 و B1 برای ۲ مدل گردش عمومی جو EMPEH5 و HADCM3 اجرا گردید و خروجی‌های به‌دست‌آمده از ٤ حالت فوق با هم مقایسه گردید و مدلی که حداقل اختلاف را نسبت به میانگین نتایج کلی تمام حالت‌ها دارا بود به‌عنوان مدل مناسب انتخاب و تحلیل‌های لازم بر روی نتایج آن صورت پذیرفت. پس از انتخاب مدل گردش عمومی جو و سناریوی منطبق‌تر با شرایط اقلیمی منطقه، خروجی‌های مدل منتخب با دوره پایه مورد مقایسه قرار گرفتند تا روند تغییرات آن‌ها مشخص گردد. نتایج حاکی از افزایش دماهای کمینه و بیشینه (۰/٤ درجه سانتی‌گراد)، تعداد روزهای خشک (۱۲ روز) و تعداد روزهای داغ (۳ روز) است. همچنین نتایج کاهش میانگین بارندگی (۱۵/۲ میلی‌متر)، تعداد روزهای تر (۱۱روز) و تعداد روزهای یخبندان (۵ روز) را در دوره اقلیمی آینده نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: تغییرات اقلیمی، مدل گردش عمومی جو، مدل LARS-WG، استان گیلان.

۱. مقدمه

با توجه به روند فعلی افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای، تشدید گرمایش جهانی برای دهه‌های آینده غیرقابل‌انکار است؛ به‌طوری‌که تأثیر بسزایی بر روی منابع و پدیده‌های طبیعی و به همان نسبت بر روی فعالیت‌های انسانی می-گذارند (روشن و همکاران، ۱۳۹۱: ۲۰). در نیمه دوم قرن بیستم دمای کره زمین نسبت به نیمه اول آن افزایش پیدا

۱ نویسنده مسئول ۰۹۱۱۲۳۰۲۵۲۲ Email: Lkazemi_1980@yahoo.com

کرده است و پیش‌بینی می‌شود که این افزایش دما در قرن بیست‌ویکم همچنان ادامه یابد و درنتیجه تغییراتی در شرایط اقلیمی مناطق مختلف کره زمین به وجود آید (خلیلی اقدم و همکاران، ١٣٩١: ٨٦). بررسی روند داده‌های آب‌وهوایی ثبت شده در دهه‌های گذشته و همچنین نتایج خروجی از تمامی مدل‌های اقلیمی پیش‌بینی‌کننده اقلیم آینده، حاکی از بروز تغییرات غیرقابل‌اغماض در اقلیم جهانی است. به‌طور مشخص بروز و تشدید پدیده‌های حدی مثل طوفان‌های سهمگین، خشک‌سالی‌های شدید، یخبندان‌های نابهنگام و غیره، نتیجه چنین تغییراتی است که ما را در مواجهه با تهدیدی جهانی به یقین رسانده است (اسماعیلی و همکاران، ١٣٩٠:٣٥). ازاین‌رو پیش‌بینی بلندمدت متغیرهای اقلیمی برای اطلاع از میزان تغییرات و درنتیجه در نظر گرفتن تمهیدات لازم برای تخفیف اثرات سوء ناشی از تغییر اقلیم مورد توجه متخصصان مختلف قرار گرفته است. همچنین استفاده از مدل‌های تولید داده امروزه به‌عنوان ابزاری برای برنامه‌ریزی‌های بهتر برای مقاصد اقتصادی به‌ویژه در بخش کشاورزی در آمده است. با توجه به اثرات وسیع اقتصادی و اجتماعی تغییر اقلیم بر جوامع، اطلاع از چگونگی بروز چنین تغییراتی در برنامه‌ریزی‌های محیطی بسیار مؤثر خواهد بود (خلیلی اقدم و همکاران، ١٣٩١: ٨٤). ریچاردسون در سال ١٩٢٢ اولین مدل عددی اقلیمی را معرفی کرد، تا چندین سال این معادلات با دقت پائین و به‌صورت دستی حل می‌شدند تا اینکه در دهه ١٩٧٠ با ظهور رایانه‌ها تحول عظیمی در مدل کردن اقلیم به وجود آمد (غیور و مسعودیان، ١٣٧٥: ٣٩). در این رابطه روش‌های مختلفی برای پیش‌بینی و شبیه‌سازی اقلیم آینده وجود دارد که معتبرترین آن‌ها استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های جفت شده جوی- اقیانوسی است. این مدل‌ها سه‌بعدی بوده و قادرند سیستم اقلیمی را با لحاظ نمودن اکثر فرآیندها در مقیاس جهانی و یا قاره‌ای شبیه‌سازی کنند. آن‌ها برای محاسبه هر یک از متغیرهای اقلیمی نیازمند محاسبه، ذخیره و تکرار محاسبات در هر یک از نقاط شبکه می‌باشند (شهابفر و همکاران، ١٣٨٠:١١). چانگ[1] و همکاران (٢٠٠٢)، ایتزینگر[2] و همکاران (٢٠٠٣)، کاینوما[3] و همکاران (٢٠٠٤)، مساح[4] و مرید[5] (٢٠٠٦)، رودریگوئز[6] و همکاران (٢٠٠٧)، فریز[7] و همکاران (٢٠٠٩)، روی[8] و همکاران (٢٠٠٩)، ابراهیمی و همکاران (١٣٨٤)، سلطانی و قلی پور (١٣٨٥)، شاه کرمی و همکاران (١٣٨٦)، سادات آشفته و مساح بوانی (١٣٨٩)، سیاری و همکاران (١٣٩٠)، روشن و همکاران (١٣٩١) و گل محمدی و مساح بوانی (١٣٩٠) از جمله کسانی هستند که با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو به بررسی اثر تغییر اقلیم در مناطق مختلف پرداختند. این مدل‌ها قادرند پارامترهای جوی و اقیانوسی را برای یک دوره طولانی‌مدت با استفاده از سناریوهای

1 Chang
2 Eitzingera
3 Kainuma
4 Massah
5 Morid
6 Rodrıguez
7 Ferrise
8 Roy

تأییدشده IPCC مدل‌سازی نمایند، اما ضعف عمده این مدل‌ها قدرت تفکیک مکانی کم و ساده‌سازی‌هایی است که برای فرایندهای اقلیمی در نظر می‌گیرند. برای فائق آمدن به ضعف قدرت تفکیک پایین لازم است خروجی این مدل‌ها قبل از استفاده در مطالعات ارزیابی اثرات تغییراقلیم، ریزمقیاس شوند (هالتینر[1] و ویلیامز[2]، ۱۹۸۰: ٤٧٧). روش آماری ریزمقیاس کردن در مقایسه با روش‌های دینامیکی، به‌ویژه در مواقعی که هزینه کمتر و ارزیابی سریع‌تر عوامل مؤثر بر تغییرات آب‌وهوایی مورد نیاز باشد، از مزیت‌ها و قابلیت‌های بیشتری برخوردار است (عباسی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۱۹). یکی از روش‌های آماری ریزمقیاس کردن، مدل LARS-WG است که یکی از مولدهای داده‌های تصادفی هواشناسی می‌باشد که برای تولید داده‌های بارش روزانه، تابش روزانه و درجه حرارت‌های حداکثر و حداقل روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیمی حاضر و آینده به کار می‌رود (سمنوف[3] و بروکس[4]، ۱۹۹۹: ۱۳۸). سایر پارامترهای آب‌وهوایی همانند سرعت باد و نقطه شبنم را نیز می‌توان توسط این مدل شبیه‌سازی نمود (پارلنگ[5] و کاتز[6]، ۲۰۰۰: ٦١٠). نسخه اولیه LARS-WG در بوداپست مجارستان در سال ۱۹۹۰ به‌عنوان بخشی از پروژه ارزیابی ریسک‌های کشاورزی ابداع شد. هسته اصلی این مدل استفاده از توزیع نیمه‌تجربی است که به‌دفعات از آن استفاده شده است. دقت بالای این مدل در تولید داده‌های آب‌وهوایی مربوط به ۱۸ ایستگاه در کانادا (ویلیامز[7]، ۱۹۹۱) و ۲۰ ایستگاه واقع در اقلیم‌های متفاوت انگلیس (سمنوف، ۲۰۰۸) گزارش شده است. ماوروماتیس[8] و هانسن[9] (۲۰۰۱) نیز با مقایسه مدل‌های WM، WM2 و LARS-WG نشان دادند که مدل LARS-WG در سطح اطمینان قابل قبول‌تری (۹۵ درصد) اقدام به تولید داده نموده است. نتایج بابائیان و نجفی (۱۳۸۵) نیز بیانگر قابلیت بالای این مدل در شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی در دوره آماری و همچنین استفاده از آن برای ارزیابی تغییر اقلیم در دهه‌های آتی است. خلیلی‌اقدم و همکاران (۱۳۹۱) توانایی مدل LARS-WG را در شبیه‌سازی داده‌های مشاهده شده در ایستگاه سنندج مورد ارزیابی قرار دادند که نتایج حاکی از دقت بالای مدل در شبیه‌سازی دمای حداکثر، دمای حداقل و تابش بود، اما پارامتر بارش نسبت به سایر پارامترها خطای بیشتری را نشان داد. گزارش‌های دیگری از کاربرد مدل برای اطلاع از نحوه تغییرات اقلیمی در دهه‌های آتی و اثرات آن بر منابع مختلف محیطی توسط سمنوف وبارو (۱۹۹۷)، سمنوف و بروکس (۱۹۹۹)، دونینگ[10] و همکاران (۲۰۰۰)، سیروتکنو[11] (۲۰۰۱)، لئو[12] و همکاران

1 Haltiner
2 Williams
3 Semenov
4 Brooks
5 Parlange
6 Katz
7 Williams
8 Mavromatis
9 Hansen
10 Downing
11 Sirtekno
12 Luo

(۲۰۰۳)، ریچتر[1] و سمنوف (۲۰۰٤)، بابائیان[2] و کوان[3] (۲۰۰٤)، سجادخان[4] و همکاران (۲۰۰٦)، کاودن[5] و همکاران (۲۰۰۸)، خزانه‌داری[6] و همکاران (۲۰۰۹)، بابائیان و همکاران (۱۳۸۸)، عباسی و همکاران (۱۳۸۹)، اسماعیلی و همکاران (۱۳۸۹)، آبابایی و دیگران (۱۳۹۰)، بابائیان و کوهی (۱۳۹۱)، خلیلی‌اقدم و همکاران (۱۳۹۱) وجود دارد که به نتایج متفاوتی از نظر نحوه تغییرات مقادیر بارندگی و دما در مناطق مختلف رسیده‌اند. در این تحقیق به‌منظور شناسایی و پیش‌بینی نوسانات اقلیمی استان گیلان از روش ریزمقیاس‌نمایی آماری با استفاده از یک مدل مولد داده‌های هواشناسی به نام LARS-WG استفاده شده است تا با بهره‌گیری از نتایج این پژوهش، بتوان با اتخاذ تدابیر لازم اثرات اقلیمی بر این منطقه را کاهش داده و سازگاری بیش‌تری را با شرایط جدید به‌ویژه از نظر تاریخ کشت و سایر اقدامات مدیریتی محصول به انجام رساند.

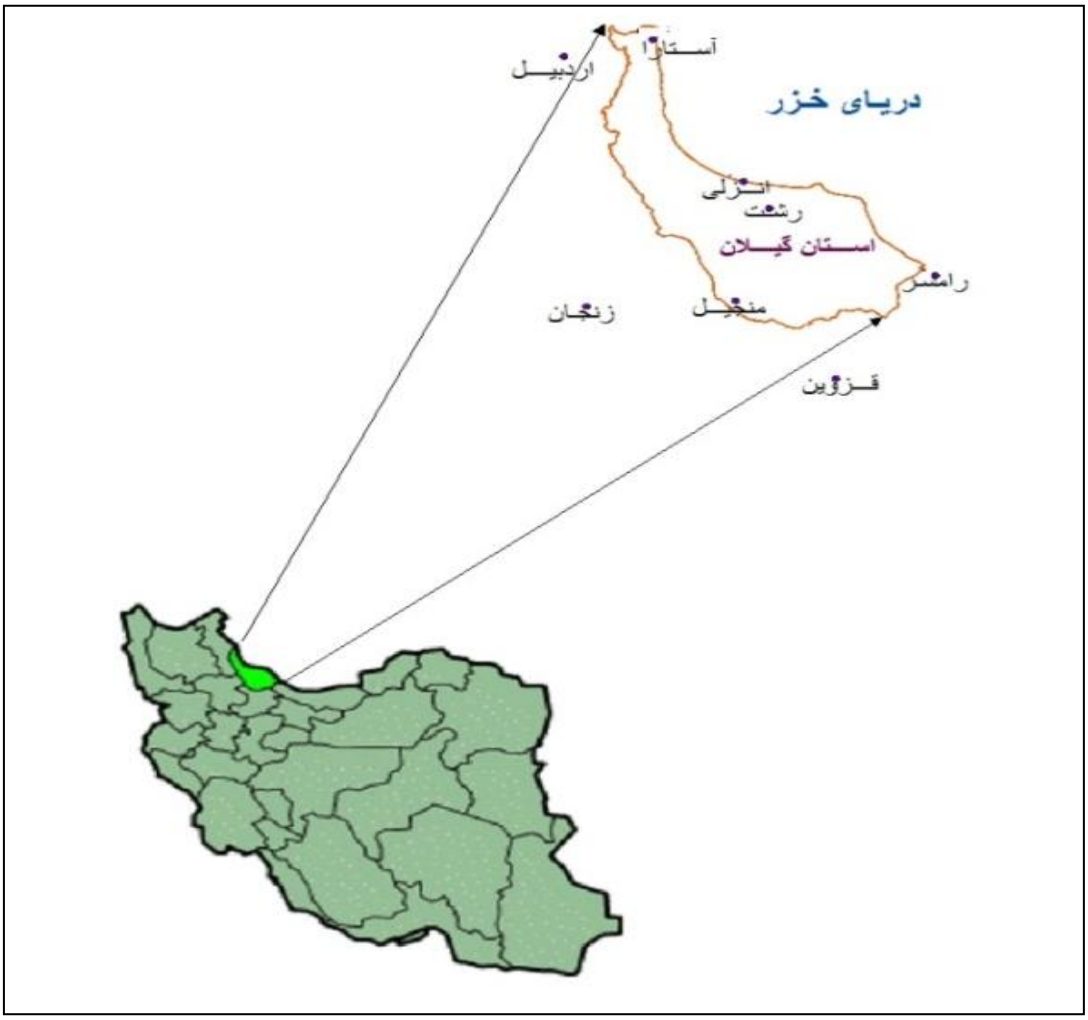
۲. مواد و روش‌ها

محدوده موردمطالعه استان گیلان با مساحت حدود ۱٤٦۰۰ کیلومترمربع در شمال کشور می‌باشد. جهت انجام تحقیق، از بین ایستگاه‌های داخل و اطراف محدوده موردمطالعه، ۸ ایستگاه سینوپتیک که دارای تعداد سال‌های آماری مناسب بوده و پراکنش مناسبی در محدوده موردنظر داشتند، انتخاب شدند که از بین آن‌ها ٤ ایستگاه در داخل استان گیلان واقع شده‌اند و ٤ ایستگاه دیگر به‌عنوان نقاط کمکی در تکمیل شبکه ایستگاهی جهت انجام عملیات میانیابی استفاده گردید. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی محدوده موردمطالعه و ایستگاه‌های منتخب را نشان می‌دهد. مشخصات ایستگاه‌های موردمطالعه نیز در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های موردمطالعه

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)	نوع ایستگاه	موقعیت	دوره آماری
انزلی	۳۷° ۲۹	٤۹° ۲۷	-۲۳/٦	سینوپتیک	داخل محدوده	۱۹۹۲-۲۰۱۰
اردبیل	۳۸° ۱۵	٤۸° ۱۷	۱۳۳۲	سینوپتیک	خارج محدوده	۱۹۹۲-۲۰۱۰
آستارا	۳۸° ۲۲	٤۸° ۵۱	-۲۱/۱	سینوپتیک	داخل محدوده	۱۹۹۲-۲۰۱۰
قزوین	۳٦° ۱۵	۵۰° ۳	۱۲۷۹/۲	سینوپتیک	خارج محدوده	۱۹۹۲-۲۰۱۰
منجیل	۳٦° ٤٤	٤۹° ۲۵	۳۳۸/۳	سینوپتیک	داخل محدوده	۱۹۹۳-۲۰۱۰
رامسر	۳٦° ۵٤	۵۰° ٤	-۲۰	سینوپتیک	خارج محدوده	۱۹۹۲-۲۰۱۰
رشت	۳۷° ۱۹	٤۹° ۳۷	-۸/٦	سینوپتیک	داخل محدوده	۱۹۹۲-۲۰۱۰
زنجان	۳٦° ٤۱	٤۸° ۲۹	۱٦٦۳	سینوپتیک	خارج محدوده	۱۹۹۲-۲۰۱۰

1 Richter
2 Babaeian
3 Kwon
4 SajjadKhan
5 Cowden
6 Khazanedari



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی محدوده موردمطالعه و ایستگاه‌های منتخب

از داده‌های روزانه ایستگاه‌های فوق شامل بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش به‌عنوان دوره پایه (۲۰۱۰–۱۹۹۲) و از داده‌های خروجی ۲ مدل گردش عمومی جو MPEH5 و HADCM3 با ۲ سناریوی A2 و B1، برای برآورد و تولید داده‌های دوره آینده (۲۰۳۰–۲۰۱۱) استفاده گردید. آمار پایه از سازمان هواشناسی کشور تهیه گردیدند و داده‌های مربوط به مدل‌های گردش عمومی جو نیز در بانک اطلاعاتی ضمیمه مدل LARS-WG وجود داشتند که با انتخاب نام آن‌ها در پنجره لارس، مدل، داده‌های مربوط به آن GCM را فراخوانی نمود. در مطالعه‌ای، کارایی ۱۸ مدل گردش عمومی جو که در گزارش چهارم هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم ارائه شده است، مقایسه گردیدند و از بین آن‌ها مدل‌های MPEH5 وHADCM3 برای برازش دما و بارش ایران مناسب شناخته شدند (صبوری، ۱۳۹۳). ازاین‌رو جهت ارزیابی تغییرات اقلیمی در استان گیلان، خروجی مدل‌های گردش عمومی

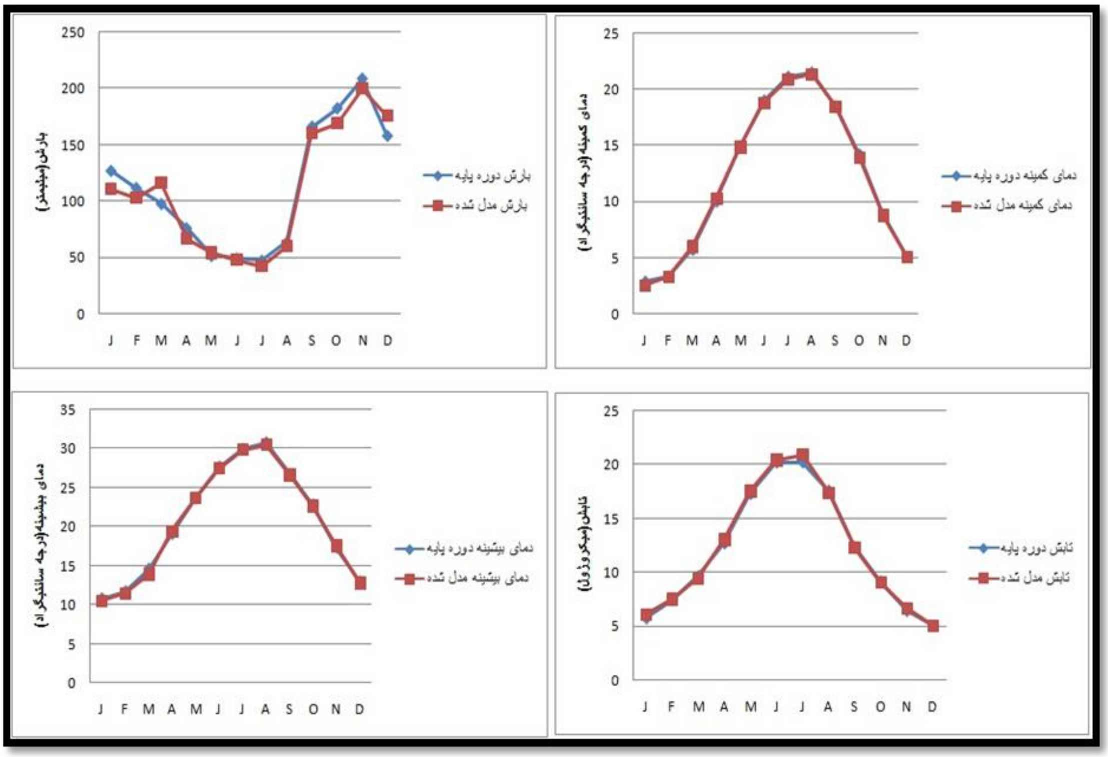
جو MPEH5 و HADCM3 با سناریوهای A2 و B1 در دوره ۲۰۳۰–۲۰۱۱ با استفاده از مدل LARS-WG ریزمقیاس شدند. این کار در سه مرحله انجام گرفت که شامل کالیبره کردن، ارزیابی و ایجاد داده‌های هواشناسی می‌باشند (عباسی، ۱۳۸۹). جهت مدل‌سازی آینده در ابتدا داده‌های دوره دیدبانی (۲۰۱۰–۱۹۹۲) به مدل وارد گردید و مدل، رفتار اقلیم ایستگاه را شبیه‌سازی نمود تا بتواند نتایج حاصل از آن را در قالب معادلات و توزیع‌های آماری در طی فرآیند پیش‌بینی اقلیم آینده استفاده نماید. برای این منظور یک سناریوی حالت پایه برای دوره آماری ۲۰۱۰–۱۹۹۲ تهیه و مدل برای دوره پایه مذکور اجرا گردید. پس از تهیه خروجی‌های مدل که شامل داده-های روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش مدل‌شده برای دوره ۲۰۱۰–۱۹۹۲ بود، ارزیابی مدل LARS-WG از طریق مقایسه داده‌های دوره آماری و داده‌های تولیدشده با استفاده از آزمون‌های آماری و نمودارهای مقایسه‌ای انجام شد. پس از تأیید توانمندی مدل LARS-WG در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی برای ۸ ایستگاه موردمطالعه، به‌منظور پیش‌بینی پارامترهای موردنظر در دوره ۲۰ساله آینده (۲۰۳۰–۲۰۱۱)، مدل بر اساس ۲ سناریوی A2 و B1 برای ۲ مدل گردش عمومی جو EMPEH5 و HADCM3 اجرا گردید و خروجی‌های به‌دست‌آمده از ٤ حالت فوق با هم مقایسه گردیدند. به‌منظور انتخاب مدل مناسب‌تر با شرایط منطقه، مقادیر مربوط به هر یک از پارامترها در ٤ حالت فوق با میانگین کل مدل‌ها مقایسه گردید و مدلی که کم‌ترین اختلاف را نسبت به میانگین نتایج کلی تمام حالت‌ها دارا بود به‌عنوان مدل مناسب انتخاب و تحلیل‌های لازم بر روی نتایج آن صورت پذیرفت. پس از انتخاب مدل گردش عمومی جو و سناریوی منطبق‌تر با شرایط اقلیمی منطقه، خروجی-های مدل منتخب که شامل داده‌های روزانه دوره ۲۰ ساله آینده (۲۰۳۰–۲۰۱۱) مربوط به پارامترهای بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه، تعداد روزهای تر، تعداد روزهای خشک، تعداد روزهای داغ و تعداد روزهای یخبندان در ایستگاه‌های موردمطالعه هستند، مورد ارزیابی قرار گرفتند تا روند تغییرات آن‌ها نسبت به داده‌های دوره پایه (۲۰۱۰–۱۹۹۲) مشخص گردد. با توجه به این امر که مدل‌های گردش عمومی نمی‌توانند انحراف‌معیار آینده را به‌خوبی شبیه‌سازی نمایند، نسبت انحراف‌معیار دیدبانی به شبیه‌سازی‌های دوره معادل دیدبانی در آنومالی متغیر موردنظر ضرب و سپس با میانگین متغیر مدل شده در دوره آینده جمع گردید تا نقیصه فوق برطرف گردد.

۳. نتایج و بحث

۳. ۱. ارزیابی صحت مدل LARS-WG

به‌منظور تأیید صحت مدل، مقادیر دیدبانی و مدل‌شده برای پارامترهای بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش در ۸ ایستگاه سینوپتیک موردمطالعه برای دوره ۲۰۱۰–۱۹۹۲ مقایسه شدند. ارزیابی مدل از طریق مقایسه داده‌های آماری و داده‌های تولیدشده توسط مدل با استفاده از آزمون‌های آماری و نمودارهای

مقایسه‌ای انجام گردید. به‌منظور مقایسه این دو سری داده از آزمون مقایسه زوجی (آزمون t) و همبستگی پیرسون استفاده گردید. تحلیل نتایج به‌دست‌آمده از آزمون آماری t-Student نشان داده است که در سطح ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری بین داده‌های دیدبانی‌شده و داده‌های تولیدشده توسط مدل وجود نداشته است. همچنین مقادیر همبستگی پیرسن بین این دو سری داده در سطح ۹۹ درصد قابل قبول بوده است. به‌طورکلی نتایج نشان دادند که مدل LARS-WG، توانمندی مدل‌سازی اقلیم ایستگاه‌های تحت مطالعه را بر اساس یک سناریوی حالت پایه دارد. در شکل۲ مقایسه مقادیر بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش تولیدشده توسط مدل و مقادیر دیدبانی در ایستگاه رشت نشان داده شده است.

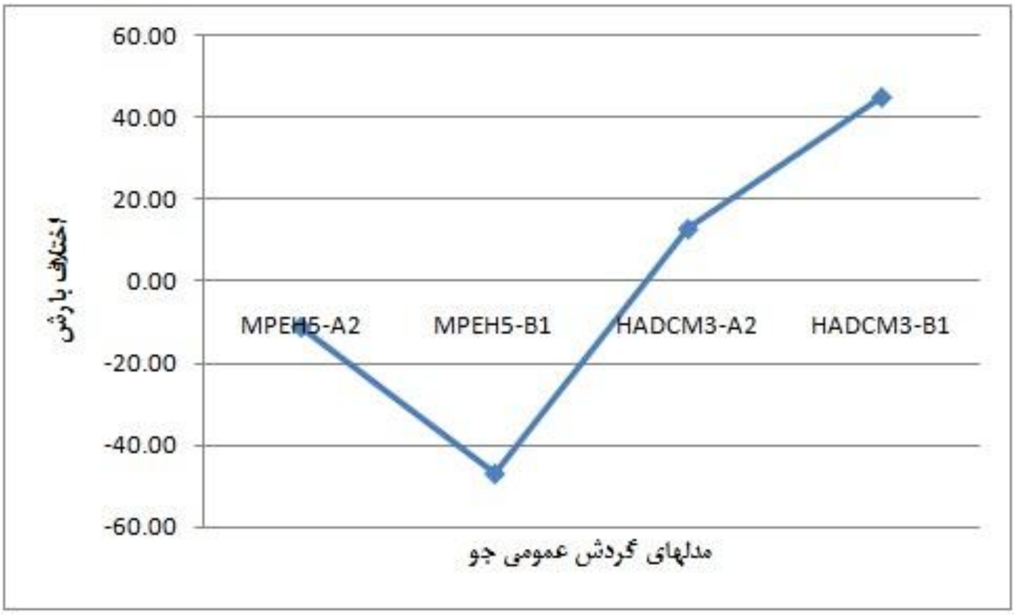


شکل۲ مقایسه مقادیر مدل‌شده و دیدبانی برای پارامترهای بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش در ایستگاه سینوپتیک رشت برای دوره ۲۰۱۰-۱۹۹۲

۳. ۲. انتخاب مدل مناسب گردش عمومی جو

به‌منظور انتخاب مدل مناسب، مقادیر ۲ سناریوی A2 و B1 برای ۲ مدل گردش عمومی جو EMPEH5 و HADCM3 با میانگین کل مدل‌ها مقایسه گردید و مدلی که حداقل اختلاف را نسبت به میانگین نتایج کلی تمام حالت‌ها دارا بود به‌عنوان مدل مناسب انتخاب و تحلیل‌های لازم بر روی نتایج آن صورت پذیرفت. در بین پارامترهای اقلیمی موردمطالعه، حداقل و حداکثر دمای پیش‌بینی‌شده با استفاده از دو مدل و دو سناریوی موردمطالعه، تطابق خوبی با داده‌های مشاهده شده داشتند و درواقع اختلاف معنی‌داری بین داده‌های دمای کمینه و بیشینه در ٤

حالت فوق وجود نداشت ولی بارش پیش‌بینی‌شده توسط سناریوی A2 مدل MPEH5 نسبت به سایر حالت‌ها از دقت بالاتری برخوردار بود. شکل۳ اختلاف مقادیر بارش برای هر مدل را نسبت به میانگین کل مدل‌ها در دوره منتخب (۲۰۳۰–۲۰۱۱) نشان داده است. همان‌طور که در نمودار فوق مشخص است مقادیر بارش در مدل MPEH5 تحت سناریوی A2 کمترین اختلاف را با میانگین کل مدل‌ها دارا بوده است.



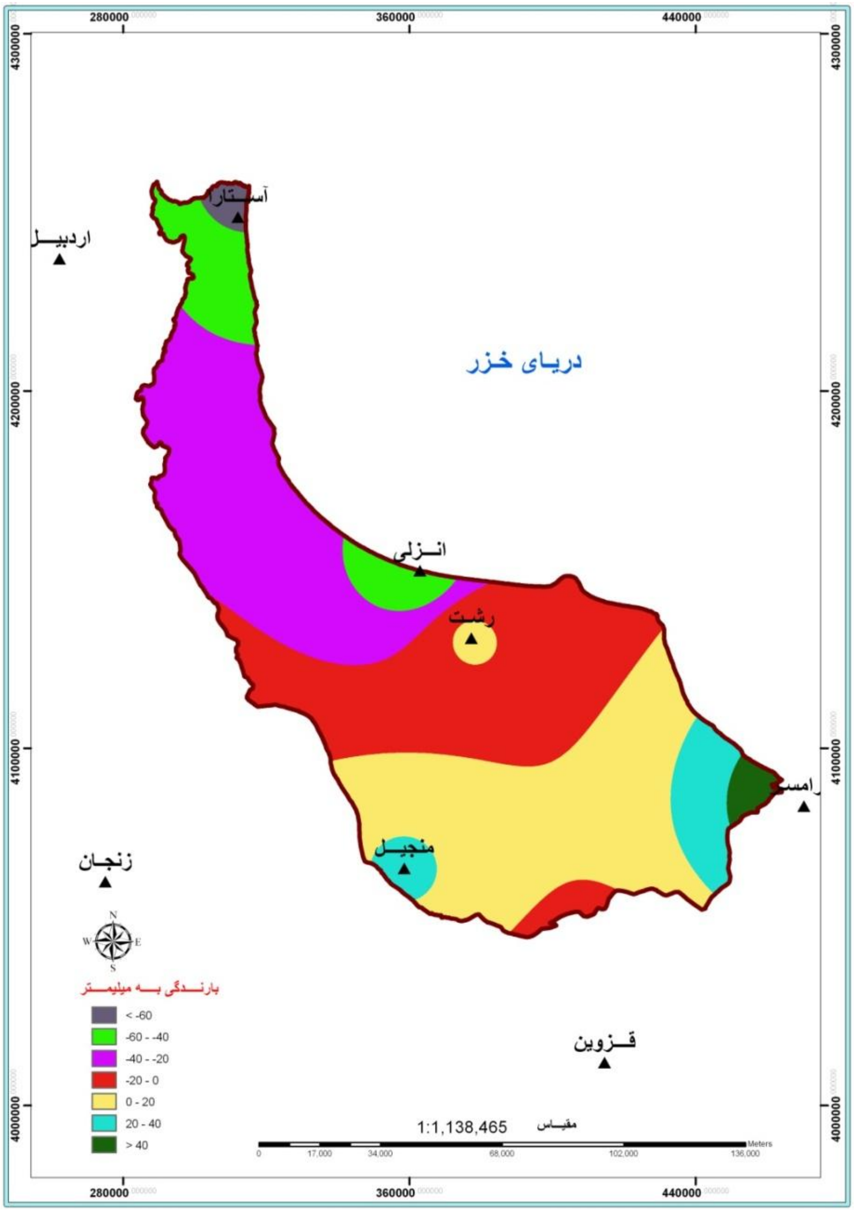
شکل۳ اختلاف مقادیر بارش برای هر مدل نسبت به میانگین کل مدل‌ها

۳. ۳. ارزیابی نوسانات اقلیمی استان گیلان

پس از انتخاب مدل مناسب گردش عمومی جو (مدل MPEH5 تحت سناریوی A2)، به‌منظور تعیین روند تغییرات در دوره ۲۰ ساله آینده (۲۰۳۰–۲۰۱۱) نسبت به داده‌های دوره پایه (۲۰۱۰–۱۹۹۲)، خروجی‌های مربوط به مدل منتخب در ایستگاه‌های موردمطالعه مورد ارزیابی قرار گرفتند.

- **بارش**

به‌جز ایستگاه‌های منجیل، رشت و رامسر در سایر ایستگاه‌ها مقدار بارش در دوره پیش‌بینی نسبت به دوره پایه کاهش پیدا کرده است. بیشترین افزایش مربوط به ایستگاه رامسر (۵۵/۱ میلی‌متر) و بیشترین کاهش مربوط به ایستگاه آستارا (٦٤/٤ میلی‌متر) بوده است. در شکل ٤ توزیع مکانی تفاوت بارش‌های ۲ دوره آورده شده است. بیشترین افزایش در شرقی‌ترین نقطه استان و بیشترین کاهش در شمالی‌ترین نقطه استان رخ داده است. بیشترین تغییرات بارندگی مربوط به ماه‌های آوریل، مه، سپتامبر و اکتبر به صورت کاهش بارندگی نمایانگر گردیده است. بیشترین کاهش در سپتامبر رخ داده که مقدار آن ۱۰/۸ میلی‌متر بوده است.



شکل ٤ توزیع مکانی تفاوت بارش‌های سالانه استان در دو دوره ۲۰۱۰-۱۹۹۲ و ۲۰۳۰-۲۰۱۱

-دمای کمینه

در تمام ایستگاه‌های موردمطالعه، میزان دمای کمینه در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ نسبت به دوره آماری افزایش پیدا کرده است که بیشترین افزایش مربوط به ایستگاه انزلی به میزان ۰/۵ درجه سانتی‌گراد بوده و در سایر ایستگاه‌ها این افزایش یکسان و ۰/٤ درجه سانتی‌گراد بوده است. در شکل ۵ توزیع مکانی تفاوت دماهای کمینه دوره ۲۰۳۰- ۲۰۱۱ نسبت به دوره آماری آورده شده است. بیشترین تغییرات دمای کمینه در محدوده موردمطالعه مربوط به

فصول زمستان و بهار بوده که به صورت افزایش در میزان دمای کمینه نمایانگر گردیده است. تنها در ماه‌های ژانویه و دسامبر کاهش دمای کمینه دیده شده است.

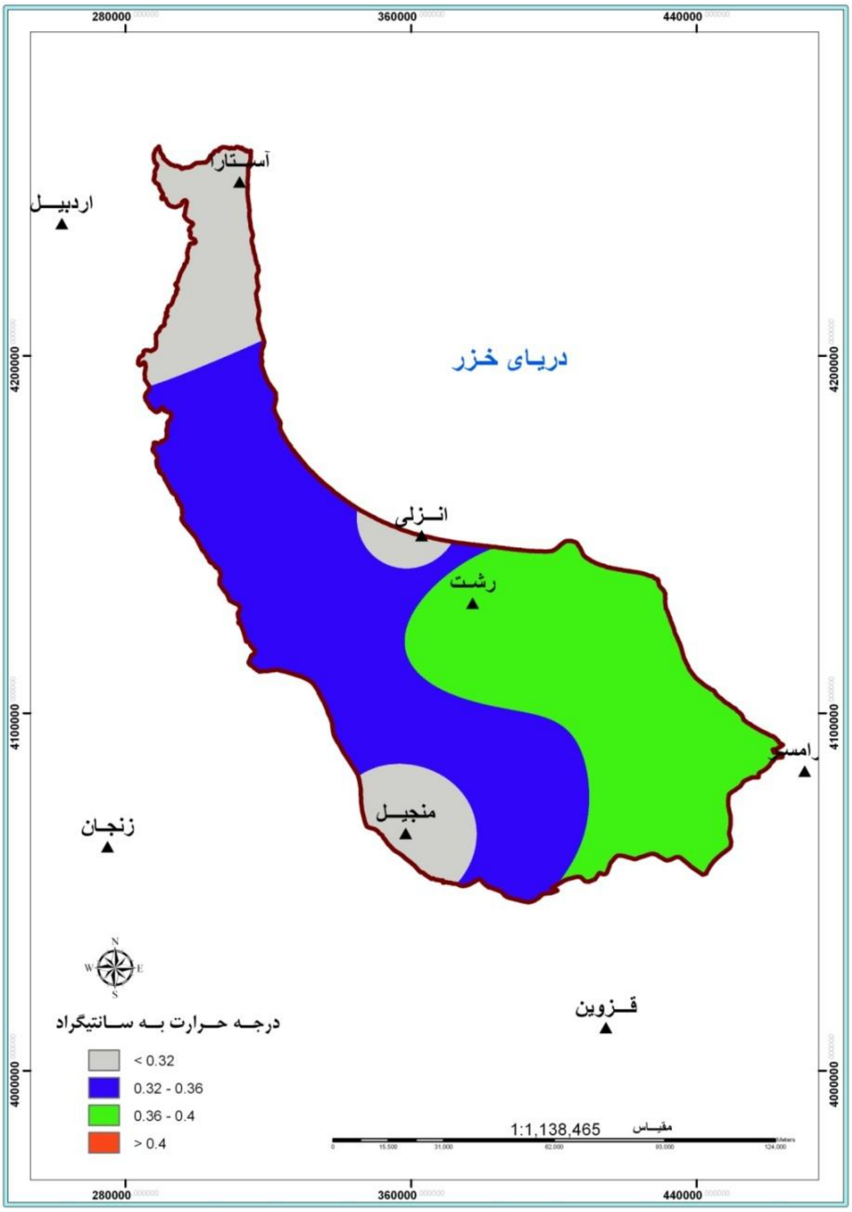


شکل۵ توزیع مکانی تفاوت دمای کمینه استان در دو دوره ۲۰۱۰-۱۹۹۲ و ۲۰۳۰-۲۰۱۱

-دمای بیشینه

در شکل ٦ توزیع مکانی تفاوت دماهای بیشینه دوره ۲۰۳۰- ۲۰۱۱ نسبت به دوره آماری آورده شده است. در تمام ایستگاه‌های موردمطالعه، میزان دمای بیشینه در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ نسبت به دوره آماری پایه افزایش پیدا کرده

است. بیشترین تغییرات بارندگی در محدوده موردمطالعه مربوط به ماه‌های آوریل و مه بوده که به صورت افزایش در میزان دمای حداکثر نمایانگر گردیده است. بیشترین افزایش دمای بیشینه مربوط به ماه آوریل به میزان ۱/۲ درجه سانتی‌گراد بوده است.

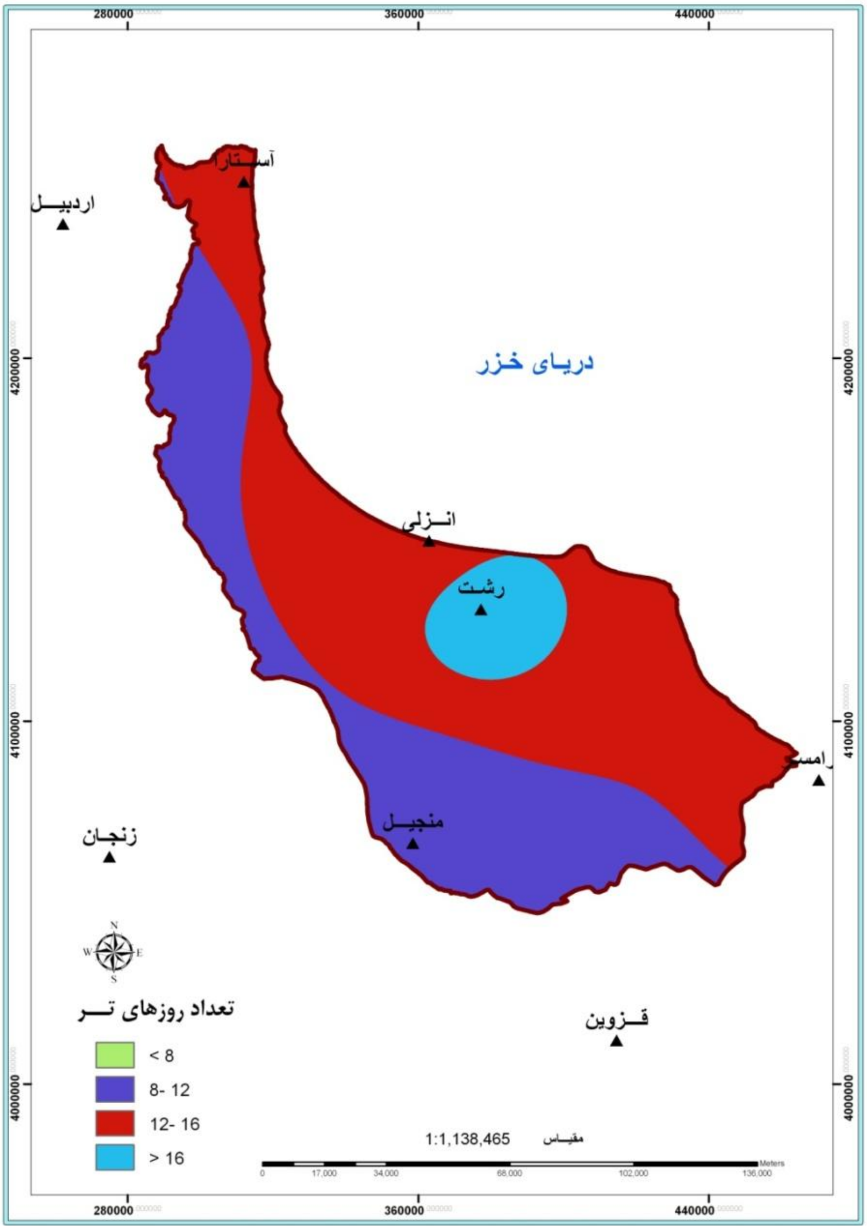


شکل٦ توزیع مکانی تفاوت دمای بیشینه استان در دو دوره ۲۰۱۰-۱۹۹۲ و ۲۰۳۰-۲۰۱۱

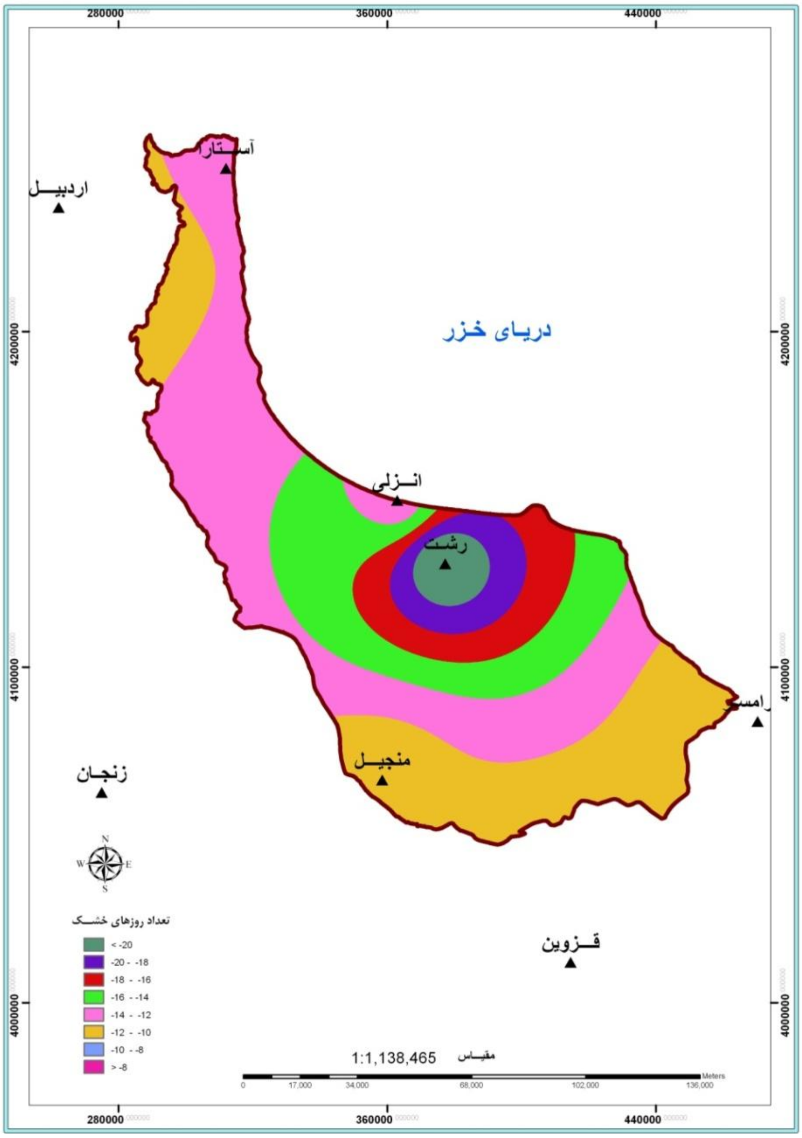
- **روزهای تر و خشک**

روز خشک روزی است که مقدار بارش آن کمتر از ۰/۱ میلی‌متر و روز تر روزی است که مقدار بارش بیشتر از ۰/۱ میلی‌متر می‌باشد (سمنوف و همکاران، ۱۹۹۸: ۱۰۱). در شکل ۷ توزیع مکانی تفاوت تعداد روزهای تر و

در شکل ۸ توزیع مکانی تفاوت تعداد روزهای خشک در دوره ۲۰۳۰– ۲۰۱۱ نسبت به دوره آماری آورده شده است. در تمام ایستگاه‌های موردمطالعه، تعداد روزهای تر در دوره ۲۰۳۰–۲۰۱۱ نسبت به دوره آماری کاهش و تعداد روزهای خشک افزایش پیدا کرده است. در تمام ماه‌های سال، در محدوده موردمطالعه، تعداد روزهای تر کاهش یافته که بیشترین کاهش مربوط به ماه اکتبر به میزان ٤ روز است. به‌جز ماه آوریل در بقیه ماه‌های سال، در محدوده موردمطالعه، تعداد روزهای خشک افزایش یافته که بیشترین افزایش مربوط به ماه اکتبر به میزان ٤ روز می‌باشد.



شکل۷ توزیع مکانی تفاوت تعداد روزهای تر در دو دوره ۲۰۱۰–۱۹۹۲ و ۲۰۳۰–۲۰۱۱

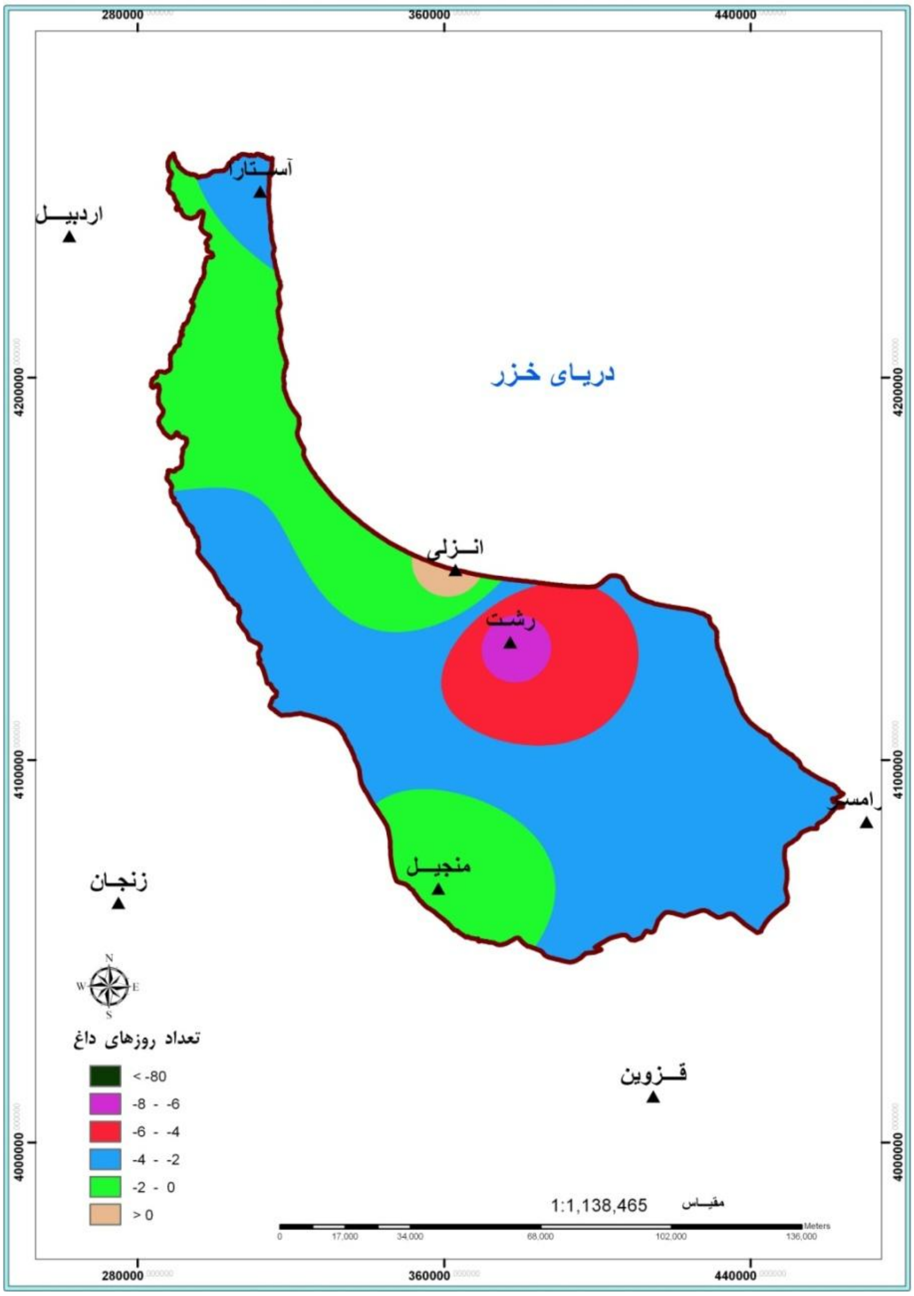


شکل۸ توزیع مکانی تفاوت تعداد روزهای خشک در دو دوره ۲۰۱۰–۱۹۹۲ و ۲۰۳۰–۲۰۱۱

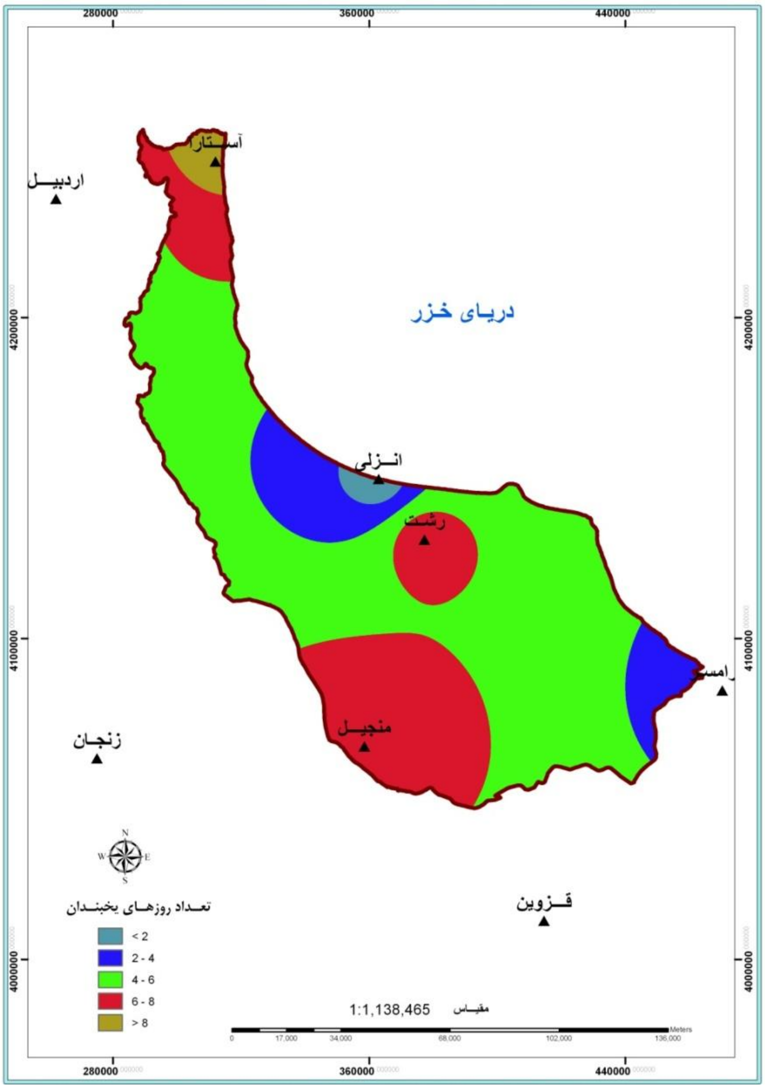
- **روزهای داغ و یخبندان**

روز داغ به روزی گفته می‌شود که دمای بیشینه آن از ۳۰ درجه سانتی‌گراد بیشتر و روز یخبندان عبارت است از روزی که دمای کمینه کمتر از صفر باشد (سمنوف و همکاران، ۱۹۹۸: ۱۰٦). شکل ۹ توزیع مکانی تفاوت تعداد روزهای داغ و شکل ۱۰ توزیع مکانی تفاوت تعداد روزهای یخبندان را در دوره ۲۰۳۰– ۲۰۱۱ نسبت به دوره آماری نشان می‌دهد. به‌جز ایستگاه‌های انزلی و اردبیل در سایر ایستگاه‌ها تعداد روزهای داغ افزایش یافته است. بیشترین افزایش در تعداد روزهای داغ مربوط به ایستگاه زنجان و بیشترین کاهش مربوط به ایستگاه رشت بوده است. در ایستگاه منجیل تغییری در تعداد روزهای داغ رخ نداده است. در تمام ایستگاه‌های موردمطالعه، تعداد روزهای

یخبندان کاهش یافته است. بیشترین کاهش در تعداد روزهای یخبندان مربوط به ایستگاه آستارا و کمترین کاهش مربوط به ایستگاه انزلی بوده است. به‌جز ماه ژوئیه که تعداد روزهای داغ افزایش قابل‌توجه داشته در سایر ماه‌ها تغییر چندانی در تعداد روزهای داغ رخ نداده است. به‌جز ماه‌های نوامبر و دسامبر، در سایر ماه‌ها کاهش تعداد روزهای یخبندان مشاهده شده که بیشترین کاهش مربوط به ماه اکتبر بوده است.



شکل۹ توزیع مکانی تفاوت تعداد روزهای داغ بین دو دوره ۲۰۱۰–۱۹۹۲ و ۲۰۳۰–۲۰۱۱



شکل ۱۰ توزیع مکانی تفاوت روزهای یخبندان بین دو دوره ۲۰۱۰–۱۹۹۲ و ۲۰۳۰–۲۰۱۱

٤. نتیجه‌گیری

جهت ارزیابی تغییرات اقلیمی در استان گیلان و لحاظ نمودن آن در برنامه‌ریزی‌های بلندمدت، خروجی مدل‌های گردش عمومی جو MPEH5 و HADCM3 با سناریوهای A2 و B1 در دوره ۲۰۳۰–۲۰۱۱ با استفاده از مدل LARS-WG در ۸ ایستگاه هواشناسی ریزمقیاس شدند. در ابتدا مدل، رفتار اقلیم ایستگاه‌ها را شبیه‌سازی نمود تا بتواند نتایج حاصل از آن را در قالب معادلات و توزیع‌های آماری در طی فرآیند پیش‌بینی اقلیم آینده استفاده نماید. ارزیابی مدل LARS-WG از طریق مقایسه داده‌های دوره آماری و داده‌های تولیدشده با استفاده از آزمون‌های آماری و نمودارهای مقایسه‌ای انجام شد. پس از تأیید توانمندی مدل LARS-WG در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی برای ۸ ایستگاه موردمطالعه، مدل بر اساس ۲ سناریوی A2 و B1 برای ۲ مدل گردش

عمومی جو EMPEH5 و HADCM3 اجرا گردید و خروجی‌های به‌دست‌آمده از ٤ حالت فوق با هم مقایسه و مدل مناسب‌تر با شرایط منطقه به‌عنوان مدل مناسب انتخاب و تحلیل‌های لازم بر روی نتایج آن صورت پذیرفت. سپس خروجی‌های مدل منتخب مورد ارزیابی قرار گرفتند تا روند تغییرات آن‌ها نسبت به داده‌های دوره پایه مشخص گردد. بر طبق روش فوق در قسمت‌های شرقی شهرستان لاهیجان و همچنین شهرستان‌های سیاهکل، املش، لنگرود و رودبار بارندگی افزایش پیدا خواهد نمود که بیشترین افزایش بارندگی در محدوده مرزی استان گیلان و مازندران مشاهده خواهد شد. در سایر شهرستان‌ها بارندگی کاهش می‌یابد. درمجموع میانگین بارش در دوره ۲۰۳۰– ۲۰۱۱ در استان گیلان به میزان ۱۵/۲ میلی‌متر نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد که بیشترین کاهش مربوط به ایستگاه آستارا به میزان ٦٤/٤ میلی‌متر می‌باشد. با وجود کاهش میانگین بارش در کل استان، در ایستگاه‌های منجیل، رشت و رامسر، مقدار بارش افزایش خواهد یافت که بیشترین افزایش مربوط به ایستگاه رامسر به میزان ۵۵/۱ میلی‌متر می‌باشد. به‌جز ماه‌های فوریه، مارس، اوت و نوامبر در سایر ماه‌ها استان با کاهش بارش مواجه بوده که بیشترین کاهش مربوط به ماه سپتامبر به میزان ۱۰/۸ میلی‌متر خواهد بود. در کل محدوده استان گیلان دمای کمینه افزایش پیدا خواهد نمود که بیشترین افزایش دمای کمینه مربوط به ایستگاه انزلی به میزان ۰/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. درمجموع میانگین دمای کمینه در دوره ۲۰۳۰– ۲۰۱۱ در استان گیلان به میزان ۰/٤ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. بیشترین تغییرات در دمای کمینه مربوط به فصول زمستان و بهار بوده که به صورت افزایش دمای کمینه می‌باشد. به‌جز ماه‌های ژانویه و دسامبر در سایر ماه‌ها افزایش دمای کمینه مشاهده خواهد شد که بیشترین افزایش آن در ماه مه به میزان ۱/۹ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. در کل محدوده استان گیلان دمای بیشینه افزایش پیدا خواهد نمود که بیشترین افزایش دمای بیشینه در شهرستان رشت و همچنین محدوده شرقی استان شامل شهرستان‌های سیاهکل، آستانه، لاهیجان، املش، رودسر و لنگرود مشاهده می‌شود. درمجموع میانگین دمای بیشینه در دوره ۲۰۳۰– ۲۰۱۱ در استان گیلان به میزان ۰/٤ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. بیشترین تغییرات در دمای بیشینه مربوط به ماه‌های آوریل و مه بوده که به صورت افزایش دمای بیشینه می‌باشد. بیشترین افزایش مربوط به ماه آوریل ۱/۲ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. در کل محدوده استان گیلان تعداد روزهای تر کاهش پیدا خواهد نمود که بیشترین کاهش تعداد روزهای تر در شهرستان رشت و کمترین میزان کاهش در مناطق کوهستانی خواهد بود. درمجموع میانگین تعداد روزهای تر در دوره ۲۰۳۰– ۲۰۱۱ در استان گیلان به میزان ۱۱ روز نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد. بیشترین کاهش در تعداد روزهای تر مربوط به ماه اکتبر بوده که میزان آن ٤ روز خواهد بود. تعداد روزهای خشک در محدوده موردمطالعه افزایش پیدا خواهد نمود که بیشترین افزایش تعداد روزهای خشک در شهرستان رشت و کمترین میزان افزایش در مناطق کوهستانی خواهد بود. به‌طورکلی میانگین تعداد روزهای خشک در دوره ۲۰۳۰– ۲۰۱۱ در استان گیلان به میزان ۱۲ روز نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. به‌جز ماه آوریل که تعداد روزهای خشک کاهش می‌یابد در سایر ماه‌ها تعداد روزهای خشک افزایش خواهد یافت که بیشترین افزایش مربوط به ماه اکتبر بوده که میزان آن ٤ روز خواهد بود. به‌طورکلی در استان گیلان

میانگین تعداد روزهای داغ در دوره ۲۰۳۰– ۲۰۱۱ به میزان ۳ روز نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت که بیشترین افزایش در شهرستان رشت خواهد بود. در شهرستان انزلی تعداد روزهای داغ کاهش می‌یابد. با وجود افزایش میانگین تعداد روزهای داغ در کل استان، در ماه‌های فوریه، ژوئن، ژوئیه و اوت تعداد روزهای داغ کاهش می‌یابد و ماه‌های ژانویه، نوامبر و دسامبر از لحاظ تعداد روزهای داغ بدون تغییر خواهند بود. در سایر ماه‌ها تعداد روزهای داغ افزایش خواهد یافت که بیشترین افزایش مربوط به ماه جولای بوده که میزان آن ۲ روز خواهد بود. در دوره ۲۰۳۰– ۲۰۱۱ تعداد روزهای یخبندان در کل استان به میزان ۵ روز در مقایسه با دوره پایه کاهش خواهد یافت که بیشترین کاهش در شهرستان آستارا و کمترین کاهش مربوط به شهرستان انزلی خواهد بود. با وجود کاهش میانگین تعداد روزهای یخبندان در کل استان، در ماه‌های نوامبر و دسامبر تعداد روزهای داغ افزایش می‌یابد. در سایر ماه‌ها تعداد روزهای یخبندان کاهش خواهد یافت که بیشترین کاهش مربوط به ماه اکتبر بوده که میزان آن ۳ روز خواهد بود. در مقاله چاپ نشده از نویسنده، تأثیر روند تغییرات اقلیمی فوق بر خشک‌سالی‌های آتی در استان گیلان موردبررسی قرار گرفته است.

کتابنامه

ابراهیمی، حسین و دیگران؛ ۱۳۸٤. بررسی وجود تغییر دما در دشت مشهد به‌عنوان نمایه تغییر اقلیم در منطقه .فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. دوره ۲۰، شماره ۷۹. صص ۱۸–۵.

اسماعیلی، رضا و دیگران؛ ۱۳۸۹. ارزیابی تغییرات طول دوره رشد و یخبندان ناشی از نوسانات اقلیمی مطالعه موردی خراسان رضوی، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. شماره ۷۳. صص ٦۹–۸۲

اسماعیلی، رضا و دیگران؛ ۱۳۹۰. پهنه‌بندی میزان تغییرات اقلیمی از دیدگاه کشاورزی در دوره اقلیمی آینده، مطالعه موردی استان خراسان رضوی. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. سال ۲۲. شماره پیاپی ٤۱. شماره ۱. صص ۵۲–۳۵.

آبابایی، بهنام و دیگران؛ ۱۳۹۰. ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG در ۱۲ ایستگاه هواشناسی ساحلی ایران. پژوهش آب ایران. سال ۵، شماره ۹.

بابائیان، ایمان و دیگران؛ ۱۳۸۵. معرفی و ارزیابی مدل LARS-WG برای مدلسازی پارامترهای هواشناسی استان خراسان در دوره ۱۹٦۱ تا ۲۰۰۳. مجله نیوار. شماره ٦۲ و ٦۳. صص ٦٦–٤۹.

بابائیان، ایمان و دیگران؛ ۱۳۸۸. ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹–۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G. جغرافیا و توسعه. شماره ۱٦. صص۱۵۲–۱۳۵.

بابائیان، ایمان؛ ۱۳۹۱. ارزیابی شاخص‌های اقلیم کشاورزی تحت سناریوهای تغییر اقلیم در ایستگاه‌های منتخب خراسان رضوی. نشریه آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲٦. شماره ٤. صص ۹٦۷–۹۵۳.

خلیلی اقدم، نبی و دیگران؛ ۱۳۹۱. ارزیابی توانایی مدل LARS-WG در پیش‌بینی برخی از پارامترهای جوی سنندج. پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک. جلد ۱۹. شماره ٤. صص ۱۰۳–۸۵

روشن، غلامرضا و دیگران؛ ۱۳۹۱. آزمون مدل مناسب گردش عمومی جو برای پیش‌بینی مقادیر دما و بارش ایران تحت شرایط گرمایش جهانی. جغرافیا و توسعه. شماره ۲۷. صص ۳٦–۱۹.

سادات آشفته، پریسا. مساح بوانی، علیرضا؛ ۱۳۸۹. تأثیر تغییر اقلیم بر دبی‌های حداکثر :مطالعه موردی، حوضه آیدوغموش، آذربایجان شرقی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. علوم آب‌وخاک. سال ١٤، شماره ۵۳.

سلطانی، افشین. قلی پور، منوچهر؛ ۱۳۸۵. شبیه‌سازی اثر تغییراقلیم بر رشد، عملکرد و مصرف آب نخود. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. سال سیزدهم، شماره۲.

سیاری، نسرین و دیگران؛ ۱۳۹۰. مقایسه دو مدل گردش عمومی جو (HadCM3, CGCM2) در پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی و نیاز آبی گیاهان تحت تغییراقلیم (مطالعه موردی :حوضه کشف رود). نشریه آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۵، شماره ٤.

شاه کرمی، نازنین و دیگران؛ ۱۳۸٦. تحلیل عدم قطعیت مدل‌های جفت شده اقیانوس- اتمسفر- گردش عمومی جو بر سناریوهای تغییر اقلیم دما و بارندگی در حوضه زاینده‌رود. کارگاه فنی اثرات تغییراقلیم در مدیریت منابع آب. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.

شهابفر، علیرضا. قیامی باجگیرانی، علی؛ ۱۳۸۰. پیش‌بینی درازمدت متغیرهای اقلیمی توسط مدل‌های رقومی گردش عمومی و روش‌های تبدیل مقیاس خروجی‌های این مدل‌ها از مقیاس جهانی به منطقه‌ای. بولتن علمی مرکز اقلیم‌شناسی. جلد ۱، شماره ۸ صص ۲۲-۱۰.

صبوری، غلامرضا؛ ۱۳۹۳. مطالعه تغییرات پهنه‌های اقلیمی ایران در دوره ۲۰۹۹-۲۰۱۰ تحت پدیده گرمایش جهانی با استفاده از ریزمقیاس نمایی مدل‌های گردش عمومی جو. پایان‌نامه، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

عباسی، فاطمه و دیگران؛ ۱۳۸۹. پیش‌بینی تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری خروجی مدل ECHO-G. نشریه آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲٤. شماره ۲. صص ۲۳۳-۲۱۸.

غیور، حسنعلی. مسعودیان، ابوالفضل؛ ۱۳۷۵. درباره اقلیم و مدلسازی اقلیمی. شماره ۳۲، صص ۵۰-۳۹.

گل محمدی، مریم. مساح بوانی، علیرضا؛ ۱۳۹۰. بررسی تغییرات شدت و دوره بازگشت خشکسالی حوضه قره‌سو در دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییراقلیم. نشریه آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۵، شماره ۲.

Richter, G. M., & Semenov, M. A. (2004). Modeling impacts of climate change on wheat yields in England and Wales, assessing drought risks, *Agriculture Systems*, *84*(1), 77-97.

Rodríguez Díaz, J. A., Weatherhead, E. K., Knox, J. W., & Camacho, E. (2007). Climate change impacts on irrigation water requirements in the Guadalquivir river basin in Spain. *Regional Environmental Change*, *7*(3), 149-159.

Roshan, Gh., Khoshakhlagh, F., & Azizi, Gh. (2012). Assessment of suitable general atmosphere circulation models for forecasting temperature and precipitation amounts in Iran under condition of global warming. *Geography and Development*, *27*, 19-36.

Roy, K., Rahman, M., & Kuman, U. (2009). Future climate change and moisture stress: Impact on crop agriculture in south-western Bangladesh. *Climate Change and Development Perspective*, *1*(1), 1-8.

Saburi, Gh. (2014). *The study zone climate changes under global warming Iran in the period 2099-2010 using the downscaling of general circulation models of the atmosphere*. Unpublished thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.

Sadat Ashofte, P., Massah Boani, A. (2010). Effects of climate change on maximum discharges: A case study of Aidoghmoush basin, East Azarbaijan. *Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, *14*(53), 25-39.

SajjadKhan, M., Coulibaly, P., & Dibike, Y. (2006). Uncertainty analysis of stochastically downscaling methods. *Journal of Hydrology*, *319*(1-4), 357-382.

Sayari, N., Alizadeh, A., Banayan, M., Farid, A., & Hesami, M. (2011). Comparison of two general circulation models (HadCM3, CGCM2) in the prediction of climatic parameters under climate change and the need for water (case study: Discover the river basin). *Water and Soil (Agricultural Sciences and Technology)*, *25*(4), 912-925.

Semenov, M. A. (2008). Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator. *Climate Research*, *35*(3), 203-212.

Semenov, M. A., & Barrow, E. M. (1997). Use of a stochastic weather generator in the development of climate change scenarios. *Climatic Change*, *35*(4), 397-414.

Semenov, M. A., & Brooks, R. J. (1999). Spatial interpolation of the LARS-WG stochastic weather generator in Great Britain. *Climate Research*, *11*(2), 137-148.

Semenov, M. A., Brooks, R. J., Barrow, E. M., & Richardson, C. W. (1998). Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators in diver's climates. *Climate Research*, *10*(2), 95-107.

Shahabfar, A., Ghiami, A. (2002). Predicting long-term climatic data by using digital general circulation models. *Scientific Bulletin of Climatology Center*, *1*(8), 10-22.

Soltani, A., & Gholipoor, M. (2006). Simulating the effects of climate change on growth, yield and water use peas. *Agricultural Sciences and Natural Resources*, *13*(2), 69-79.